

NIVELES CRITICOS DE AZUFRE EN SORGO

(Sorghum bicolor, L. Moench)

LUIS PEÑA VIANA

WILLIAN SANTAMARIA MACIAS

Tesis de grado presentada como requisito parcial para

optar al título de:

Ingeniero Agrónomo

Presidente de tesis

MANUEL GRANADOS NUÑEZ I.A. MSc.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL MAGDALENA

"Gabriel García Márquez"

FACULTAD DE INGENIERIA AGRONOMICA

Santa Marta - 1983



~~Tee.~~

~~437. I.A.~~

~~P 120 n.~~

IA 00259

12854

" Los jurados examinadores del trabajo de tesis no son responsables de los conceptos emitidos por los aspirantes al título".

D E D I C O :

A MI MADRE

A MI PADRE

A MIS HERMANOS

A MIS AMISTADES

LUIS

D E D I C O :

A MIS FAMILIARES

A MIS AMIGOS

A LA FAMILIA MEDINA SOLENO

WILLIAN

AGRADECIMIENTOS

Los autores del presente trabajo dan sus sinceros agradecimientos a las siguientes personas.

Al Doctor Manuel Granados Nuñez, I.A.,M.Sc., por la confianza puesta en nosotros y su acertada dirección para llevar a cabo este trabajo.

A Beatriz Martha F. de Michell.

A Ruben Rocha y Rafael Acosta por su colaboración.



CONTENIDO

CAP		Pág.
I	INTRODUCCION	1
II	REVISION DE LITERATURA	4
III	MATERIALES Y METODOS	19
IV	RESULTADOS Y DISCUSION	24
	4.1. Peso en base seca de los trata- mientos con azufre	24
	4.2. Azufre total en el suelo des- pués de haber recolectado la materia verde de la parte aérea y la raíz	27
	4.3. Azufre orgánico en el suelo después de haber recolectado la materia verde de la parte aérea y la raíz	28
	4.4. S-SO ₄ extraído con fosfato de calcio	28
	4.5. Azufre total en plantas de sor- go en la parte aérea	29
	4.6. Matriz de correlación entre las diferentes formas de azufre	29

CAP		Pág.
V	CONCLUSIONES	39
VI	RESUMEN	<u>41</u>
	SUMMARY	44
	BIBLIOGRAFIA	46
	APENDICE	49

INDICE DE APENDICE

Cuadro 1.	Andeva del peso en base seca del perfil estudiado y del horizonte I en un suelo sin cultivo	50
Cuadro 2.	% relativo de las diferentes formas de azufre en el ensayo efectuado	52
Cuadro 3.	Prueba de contraste ortogonal del horizonte II del perfil del suelo cultivado	53
Figura 1.	Ciclo del azufre de Fassbender	54
Figura 2.	Ciclo del azufre de Chaudry.	56

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Azufre total en el suelo después de haber recolectado la materia verde de la parte aérea y la raíz	34
Tabla 2. Azufre orgánico en el suelo después de haber recolectado la materia verde de la parte aérea y la raíz	35
Tabla 3. $S-SO_4$ extraído con fosfato de calcio	36
Tabla 4. Azufre total en plantas de sorgo en la parte aérea	37
Tabla 5. Matriz de correlación entre las diferentes formas de azufre.	38



INTRODUCCION

El rendimiento de una planta es la expresión de todos los factores que interactúan durante su ciclo vital. Estos factores pueden ser extrínsecos e intrínsecos. El hombre ha aprendido a manejar y modificar principalmente los factores edáficos y una gran parte de los bióticos, suministrando a la planta, desde el punto de vista de su nutrición, aquel o aquellos elementos que por estar por debajo de su nivel requerido obliga a la planta a mantenerse en un estado de postración cuyos efectos se reflejan principalmente en su eficiencia productiva.

Se ha comprobado que el tenor de azufre es fundamental para el buen desarrollo y producción de los cultivos. Esto es debido a que el azufre es uno de los seis elementos constituyentes esenciales en el metabolismo de la planta. Como componente de aminoácidos, tales como cistina, cisteína, metionina; dos vitaminas que son: tiamina y biotina, y por otra parte es esencial para las funciones de respiración de las plantas.

El azufre se presenta en los suelos en forma elemental, como sulfuro y sulfatos y en combinaciones orgánicas; o sea que se encuentra en el suelo tanto en forma orgánica como inor-



gánica. Además el azufre varía considerablemente con la profundidad y la cantidad de azufre y sulfato varía de acuerdo con la estación climática y el tipo de suelo.

El mayor contenido de azufre de cualquier grupo de suelo orgánico se han encontrado en los de turbas sedimentarias, en donde se encuentran en forma de piritas o sulfuro de hierro.

El ciclo de azufre es mucho más complicado que el del carbón o del nitrógeno; sin embargo de una manera general se puede afirmar que el azufre orgánico se acumula en el suelo, en los restos orgánicos.

Los síntomas de deficiencia de azufre hasta cierta forma son parecidos a las deficiencia de nitrógeno. Esta sintomatología equivocadamente se trata de corregir con aplicaciones de algún fertilizante nitrogenado comercial, lo cual empeora la situación. Si por algún motivo se aplica sulfato de amonio la planta se recupera cayendo entonces en la credibilidad de haber sido una deficiencia de nitrógeno y no de azufre. Es por esto que se hace necesario conocer las cantidades de azufre, sulfatos asimilable, total y orgánico que tienen los suelos cultivados en todos sus horizontes hasta donde puedan llegar las raíces más profundas.

Los objetivos principales de este trabajo son determinar:

- a) La cantidad de sulfato del suelo.
- b) Azufre total en la planta y suelo.
- c) Azufre orgánico en suelo.
- d) Azufre inorgánico en suelo.

II REVISION DE LITERATURA

{El papel del azufre en la nutrición de la planta fué reseñado por Gilbert y más recientemente por Lemoigne. Este nutriente es un constituyente de varios aminoácidos y de ciertas vitaminas y coenzimas. El azufre se halla en los cloroplastos y una deficiencia es usualmente asociado con clorosis en las hojas.

Varias especies de plantas contienen aceites volátiles y compuestos ricos en azufre. Una deficiencia de azufre en la planta resulta en una asimilación incompleta de nitrógeno y consecuentemente afecta el metabolismo de las proteínas (1.23).1

Aún así, el azufre ha recibido menos atención en estudios de fertilidad de suelo, dado que lo reconocieron como un elemento esencial. Hay probablemente dos razones por que el azufre ha sido descuidado. Primero, la cantidad necesitada por la planta fué menospreciada por que mucho del azufre se perdió en las cenizas del procedimiento usado en los primeros trabajos. Segundo, el superfosfato es largamente usado como fuente de fósforo y él suministra mucho del azufre necesitado por el cultivo en producción (5).

Jacob y Uexkull, citados por Ospino (18), dan como razones para la poca atención que se prestaba al azufre en la fertili-

zación vegetal la enorme reserva natural de la mayoría de los suelos y su presencia como componente de varios fertilizantes.

La reserva mundial de azufre nativo fué evaluada por la United States Geological Survey entre 56 y 121 millones de toneladas (15).

{Sin embargo se ha encontrado que existen muchos suelos con deficiencia de azufre (1.5.13). Generalmente la mayoría de los suelos contienen solamente de 50 a 60% de azufre con respecto al fósforo pero la planta remueve cerca de la misma cantidad de los dos elementos (13). La lluvia adiciona pequeñas cantidades y esta varía de una región a otra, lo mismo que con la época del año (5.13).}

{Existen numerosos trabajos que demuestran los efectos positivos de los tratamientos con azufre en los casos en donde se había observado deficiencias (12.13.15)}

La composición mineralógica de los suelos depende de las aportaciones del material parental (8). El azufre proviene de minerales primarios, entre estos. Las rocas ígneas básicas (15.20. 21).

En estudios realizados por Clarke, citado por Malavolta (15), este encontró en la capa terrestre una cantidad de azufre igual al 0,12%. El mismo autor en otra publicación hecha en años posteriores modifica el dato anterior apareciendo el azufre con un porcentaje del 0,06.

Cairns y Richer, citados por Granados (8), lo mismo que Malavolta (15), afirman que este elemento se encuentra en los suelos tanto en forma mineral como orgánica. Según Bear (14,15), los minerales que contienen en mayor proporción azufre son el sulfato de calcio hidratado o yeso, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; hallándose difundido largamente en muchas formaciones geológicas en capas de extensiones considerables. La anhidrita, CaSO_4 , la cual se forma por pérdida de agua del yeso, y la pirita o bisulfato de hierro FeS_2 ; esta aparece frecuentemente en formaciones turbosas en donde se originan por la acción de aguas ferruginosas sobre residuos orgánicos y el sulfato de calcio.

[Parece que, Berthelot y Andro (15), fueron los primeros investigadores en llamar la atención del papel representado por el S-orgánico dentro del S-total revelado por análisis. De acuerdo con Rippel (15) el azufre orgánico representa del 79,4 a 90,4% del S-total y Waskman y Starkey (23) estimaron que el 80-90% del azufre ocurre en la forma orgánica.]

Starkey (23) reporta en suelos de región húmeda un contenido del 0,42% de S-total, de ésto, 14% era sulfato; en suelo forestal 0,058% de S-total, 10% era sulfato, y en suelo humífero 0,126% de S-total en el cual 21% era sulfato.

Greaves y Gardner (5) reportan rangos de azufre total en suelos americanos entre 140 y 980 libras por acre. En los Estados Unidos suelos del sureste fueron encontrados con un contenido (en la capa arable) de 6 libras por acre o menos de azufre. Dymond (15) y colaboradores hallaron en 21 suelos de Inglaterra una media de 0,0204% de azufre; Hart y Peterson citados por Croker (15) mostraron que los suelos de Wisconsin tienen 1.000 libras de S expresado en forma de SO_4 y 3.000 de P_2O_5 por acre. Robinson y otros citados por Bear (15) hallaron en 19 tipos de suelos americanos un tenor de SO_2 variable entre 0,3 a 0,34%. [Birch citado por Granados (8), anota que la cantidad de azufre total en los suelos colombianos, no pasa por lo general de 1.500 ppm.]

Mediante estudios hechos para determinar la cantidad de azufre que se incorporan al suelo con el agua de lluvia, se ha encontrado que ésta varía de un estado a otro y así mismo en distintos puntos dentro de un mismo estado. Esto se debe a que la atmósfera próxima a centros de alto consumo de combustible contienen mucho más azufre que la atmósfera si-

tuada lejos de éstos centros. Debido a ésto, la cantidad de azufre que llega al suelo en las lluvias en zonas rurales no satisfacen los grandes requerimientos de azufre por los cultivos (13,15).

Según Erdma y Bollen (5) las lluvias aportan 15 libras/acre anual de azufre; en la faja de estados sureños en los Estados Unidos la lluvia suministra cerca de 5,4 libras de S por acre anualmente (12); Collison y Mensching (15) afirman que los suelos de Genova, N.Y. reciben 41 libras; Stewart. (15) mostró que los suelos de Illinois ganan 45,1 libras por acre anualmente.

{Mucho del azufre en la capa superficial de los suelos es en forma orgánica, mientras que en los horizontes inferiores predominan las formas inorgánicas (5,8). En los subsuelos se han encontrado generalmente una cantidad menor de azufre que en los suelos tal como era de suponer puesto que una porción considerable del azufre se halla contenido en la materia orgánica. Sin embargo en algunos suelos ácidos se halla una acumulación de sulfatos a distancias variables por debajo de la superficie (17).}

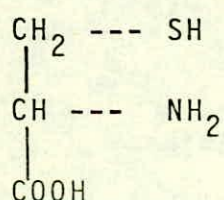
{El azufre se encuentra en los vegetales bajo las formas de:

A. Sulfatos o esteres de ácido sulfúrico. En algunas plantas

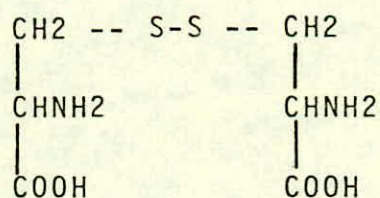
65% del azufre esta representado por sulfatos solubles.

B. Proteínas sulfuradas. Encerrando el azufre como aminoácido, cistina. Como las cantidades de ese aminoácido en las diferentes proteínas varía considerablemente, lo mismo acontece con la proporción de azufre en la proteína. las cantidades encontradas de azufre en las proteínas varía entre 0, 2 y 2%.

C. Aminoácidos sulfurados, como la cisteína o ácido sulfidril-aminopropiónico.



O como cistina (ácido diamino-ditiolacético)



D. En ciertas plantas, aparece como isosulfocianatos alcohólico o sulfito de alila.

E. Finalmente se encuentran los compuestos mercaptánicos (15).

Los animales y microorganismos también producen azufre orgánico el cual se presenta como proteínas, aminoácidos, ésteres sulfatados, tiourea, glucósidos, alcaloides y otros compuestos (23).

Conrad según Walker (23) demostró que los organismos del suelo pueden competir con plantas superiores por sulfatos cuando la paja de cereal y almidones son adicionados al suelo, el azufre hace necesaria su adición para asegurar un buen crecimiento de la planta.}]

El azufre en sus compuestos orgánicos e inorgánicos sufre en la naturaleza una serie de acciones químicas, de naturaleza principalmente microbiana (15).

Según Alexander citado por Granados (8), los distintos procesos bioquímicos pueden agruparse en:

- A. Mineralización de compuestos azufrados
- B. Inmovilización de los compuestos simples
- C. Oxidación de compuestos inorgánicos
- D. Reducción de sulfatos a sulfuros .

El conjunto de las reacciones anteriores son las que van a formar lo que se denomina el ciclo del azufre, el cual pre-

senta gran similaridad con el ciclo del nitrógeno. Existiendo numerosas interpretaciones del mismo, así tenemos la interpretación de Fassbender (6), y la dada por Chaudry (3).

[Barrow citado por Lafaurie (14), sugiere que la mineralización del azufre depende de la naturaleza de la materia orgánica adicionada recientemente. Bajo condiciones en las que ocurren deficiencias, esta materia orgánica tenderá a ser relativamente baja en azufre.]

La mineralización del azufre orgánico sigue el mismo esquema presentado por el nitrógeno orgánico. Proteínas, peptidos y otros compuestos sulfatados son depolimerizados hasta su estado de aminoácidos, tiosulfatos, tiourea, etc. los microorganismos que actúan en estos procesos pueden ser bacterias aeróbicas, anaeróbicas, heterotróficas; así como hongos. Entre los cuales se destacan los siguientes: Proteus vulgaris, Serratia marcescens, Aspergillus sp. y Microsporium gypdeum (6).

La creencia popular es que en primer lugar se forma H_2S , que es oxidado bajo condiciones de buena aireación pasando a la forma de sulfato, este puede ser absorbido por la planta o inmovilizado por los microorganismos quienes lo utilizan así nuevamente. Sin embargo un producto de la descomposición



sición puede ocurrir que no sea el principal producto de la misma, debido a que un radical orgánico como el sulfinico ($R - SO_2H$) puede ser transformado en ácido sulfúrico (22).

La mayor parte de $S-SO_4$ mineralizado a partir de compuestos orgánicos proviene de los aminoácidos, cistina, cisteína y metionina. Existiendo entre los dos primeros una reacción reversible (8).

{Los procesos de oxidación y reducción de azufre en los suelos son importantísimos en la dinámica de este elemento nutritivo.}

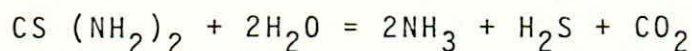
{Estos procesos son realizados en su totalidad por microorganismos especializados (6).}

En la oxidación de sulfuro a sulfato participan cinco bacterias aeróbicas de las cuales cuatro son autótrofas con respecto al carbono (6). Los únicos organismos que se ha demostrado que llevan a cabo este proceso son algunas especies perteneciente al grupo Thiobacillus, algunas de cuyas especies (I. thioparus, I. novellus, I. denitrificans) son estrictamente químoautotroficas obligatorias. Estas bacterias aparecen bien distribuidas en suelos alcalinos (8,15,20).

Según Hall (9), entre las sustancias que pueden oxidarse se encuentran : 1º. Compuestos orgánicos complejos de azufre, 2º. Sulfuros por ejemplo: Sulfuro ferroso y 3º. Azufre elemental.

En la oxidación pueden aparecer productos intermedios como hiposulfitos y sobre todo los tetra y pentationatos. Estos compuestos desaparecen de modo progresivo transformándose en sulfatos, pero son susceptibles de ejercer una acción antiséptica (4).

Según Demolon (4), el azufre unido al carbono resiste con ventaja a la oxidación; así sucede en los sulfocianuros y la sulfourea, esta última, tóxica para las plantas jóvenes y los nitrificadores, se descomponen lentamente como sigue:



Bajo condiciones aeróbicas el SO_4 no es estable y es reducido a forma sulfúricas. El mecanismo exacto de la reducción denominado algunas veces desulfurización no es conocido en detalles (6.20).

Existen algunas evidencias indicando que el azufre en forma de sulfuro, así como también ciertas formas orgánicas de a-

zufre, pueden ser retenidas por el suelo (8).

{Mattson (5) estableció que una apreciable cantidad de sulfatos es adsorbida por algunos coloides del suelo y que la capacidad de adsorción de los coloides del suelo norfolk aumenta con el incremento de la acidez. Lichtenwalner et al (5), determinaron la capacidad de adsorción de los hidróxidos de hierro y aluminio y establecieron que ellos ayudan a la adsorción de sulfatos.}

Según Chao, Harwar y Fang citados por Granados (8) los suelos latosólicos pardos, lateríticos rojos y los andos exhiben la más alta adsorción de sulfatos que otros suelos. Estos suelos tienen mayor cantidad de sesquióxido de hierro y aluminio cambiabile.

{Es común que en suelo ácidos (pH menor de 6) el ion sulfato ($\text{SO}_4^{=}$) esté asociado al hierro, aluminio y en menor grado con el manganeso, formando sulfatos facilmente solubles a pH bajo; pero cuando están presente en exceso pueden tener efectos nocivos en ciertas plantas superiores. El más pernicioso es el sulfato de aluminio, puesto que el elemento en sí es tóxico para la planta si hay un exceso de él en forma aprovechable (21).}

Los posibles mecanismos de adsorción de sulfato por el suelo pueden ser tentativamente los siguientes:

- A) Intercambio aniónico debido a las cargas positivas desarrolladas por el hierro hidratado y/u óxido de aluminio, o en los bordes de los cristales de arcillas, especialmente caolinita en pH bajo.
- B) Retención de ión sulfato por complejo hidroxialumínicos por coordinación.
- C) Adsorción de sales que resulta de la atracción entre la superficie del coloide del suelo y la sal.
- D) Propiedades anfotéricas de la materia orgánica del suelo, que desarrolla cargas positivas bajo ciertas condiciones específicas (8).

Según llanos citados por Granados (8), encontró una correlación de 0,9351 entre adsorción de sulfato y la fracción limo arcilla de los suelos. A mayor cantidad de material fino, mayor superficie de adsorción en las partículas del suelo.

Relacionando la textura con el azufre del suelo Bardsley y Lancaster (18), hallaron que el suelo franco-arenoso contenía 158 lbs/acre de azufre total, el suelo franco y el franco-limoso 206, el franco-arcilloso 238 y el arcilloso 380 lbs/acre.

El ión $\text{SO}_4^{=}$ se consue de forma intermedia entre Cl^- , NO_3^- y $\text{PO}_4^{=}$.

La adición de sulfato a un suelo que ha estado privado de él siempre da lugar a una ligera fijación con curva de adsorción típica. Esta retención es tanto más intensa cuanto más bajo es el pH, exaltándose el carácter básico de los coloides por la acidificación del medio (4).

{El efecto del azufre en la planta está directamente relacionada con la presencia y concentración de otros elementos nutritivos en el suelo por lo tanto hay posibilidades de sinergismo y antagonismo (8).}

Conforme a datos obtenidos hasta la fecha la importancia del azufre se equipara a la del fósforo en la nutrición vegetal. Algunas leguminosas y crucíferas suelen acumular en sus tejidos mayor cantidad de azufre que de fósforo (4,16). Tréboles, alfalfa y algodón muestran particularmente un alto requerimiento de azufre comparada con la de maíz y los pastos en general (1).

{Las plantas absorben azufre como ión sulfato, que a continuación es en parte reducido para llegar a ser un componente de los aminoácidos, cistina y metionina. El azufre también sirve como regulador para acelerar el desarrollo de las raíces.}

La adsorción de sulfato en las raíces exige la activación del oxígeno (14). En lo anterior se observa que los sulfatos intervienen de manera principal en los procesos vitales de la división celular, que en último término equivale al desarrollo activo de los animales y plantas (21).

{Bogdanov (15), en vista de los efectos benéficos de abonos conteniendo sulfatos concluye que el azufre es más importante para la planta de lo que comunmente se piensa.}

{Baxter (14), anota que el azufre es importante en la formación de clorofila, aunque no llega a ser parte constituyente del pigmento y que las plantas que crecen deficientes de azufre tienen color verde claro, el cual puede corregirse aplicando azufre. Además las plantas que presentan esta deficiencia tienden a acumular nitrógeno en forma de nitrato lo que puede ser debido a la falta de aminoácidos con azufre que son los esenciales en la síntesis de las proteínas. El azufre parece tener intervención en la reducción de nitratos.}

Thompson (22), indica que las plantas pueden absorber el SO_2 del aire. La absorción directa del dióxido de azufre por la planta bien puede ser un factor contribuyente en la fertilidad del azufre. Aunque la concentración de azufre en la atmósfera es baja, en el orden de 0,05 ppm., la cantidad to-

tal de azufre en la atmósfera es ilimitado (3).

El asufre en estado puro es susceptible de un afecto cáustico en las regiones meridionales, por la combinada del calor y la luz (4).

III MATERIALES Y METODOS

En la zona típicamente cafetera de la Sierra Nevada de Santa Marta, al noreste de ésta se escogieron dos sitios de muestreo obteniéndose muestras de un terreno que había sido desmontado y cultivado durante muchos años, con plantas de cafeto y de un perfil virgen.

Estos sitios de muestreo están localizados en la finca Cincinatti, la cual está a una altura de 1.270 msnm y su situación geográfica es de 11° 06' 03" latitud norte y 74° 06' longitud oeste. En estos sitios se tomaron de 25 a 30 kilos de suelo aproximadamente. Los suelos de los horizontes del perfil cultivado que pertenece a la Serie Cincinatti: según Peñaloza (18), tienen la siguiente descripción:

H₁ 0,00-0,62 m. Franco-arcilloso, color en seco 10 YR6/3 (marrón claro); tipo subangular; clase media; grado, bueno; plasticidad, moderadamente plástico; permeabilidad, moderada; retención de humedad, muy buena; presencia de microorganismo regular; presencia de raicillas abundantes; contenido de materia orgánica, media; profundidad

efectiva, profunda; drenaje externo, excesivo; drenaje interno, medio; límite claro.

H₂ 0,62-1,06 m. Arcilloso, color en seco 10 YR5/2

(pardo); tipo subangular; clase moderada; grado, bueno; plasticidad, plástico; permeabilidad, moderada; retención de humedad, buena; presencia de raicillas pocas; contenido de materia orgánica, alto; profundidad efectiva, poco profundo; drenaje externo, excesivo; drenaje interno lento; límite abrupto.

H₃ 1,06-X m. Franco-arcillo-arenoso, color en seco 10 YR7/4 (marrón muy claro); tipo subangular; clase moderada; plasticidad, moderadamente plástico; presencia de macroorganismo, no hay; contenido de materia orgánica, baja; presencia de raicillas no hay; drenaje externo, excesivo; drenaje interno, lento; límite claro.

El suelo del perfil virgen presenta un solo horizonte así:

Profundidad de 0,00-X m., textura franco-arcillo-arenoso.

A estos horizontes se les determinó el pH según el método descrito por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (10), este pH se midió en una relación 1:1; obteniéndose los siguientes resultados: muestra N° 1, pH 5,4; muestra N° 2, pH 5; muestra N° 3 pH 5,3 y para la muestra N° 4, pH 5,7.

Además se determinaron los niveles de azufre mediante el método de Cornfield y colaboradores (2).

El trabajo se realizó en el umbráculo de la Universidad Tecnológica del Magdalena, localizada en el municipio de Santa Marta, Departamento del Magdalena.

Se utilizaron en este experimento cuatro tratamientos con tres repeticiones así:

Tratamientos	S	N	P	K
T ₀	0	300	300	200
T ₁	40	300	300	200
T ₂	80	300	300	200
T ₃	120	300	300	200

Utilizando como fuentes para las aplicaciones de N-P-K, el

nitrate de amonio (NH_4NO_3) y el fosfato diácido de potasio (KH_2PO_4). Una vez hecha la aplicación básica de abono, se procedió a aplicar el yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), que fué mezclado uniformemente con el suelo para suministrar los equivalentes de azufre descritos en el cuadro de tratamientos; después de lo cual se pasó el suelo tratado a macetas con sus correspondientes repeticiones, cada una de las cuales contenían 2.000 gr. de suelo secado al aire; se le agregó cloruro de calcio (CaCl_2), en cantidades necesarias para mantener constante las adiciones de calcio en todos los tratamientos.

El diseño utilizado para el presente experimento fué el de irrestrictamente al azar, el cual es recomendado para estudios que se lleven a cabo en macetas o materas.

Como planta de ensayo se utilizó el híbrido de sorgo penta 56-90 (Sorghum bicolor, L. Moench. Las semillas se plantaron pregerminadas el día 20 de Agosto de 1982 y se hizo la recolección el 18 de Octubre del mismo año.

En el transcurso del experimento se presentó en las plantas una deficiencia de magnesio por lo cual se hizo necesaria una aplicación de óxido de magnesio (MgO) en un equivalente a 60 Kg/Ha.

Para mantener una humedad próxima a la capacidad de campo, las macetas se regaron con agua desionizada hasta un máximo de 410 ml., cada vez que fué necesario.

Una vez seco y pesado, el material de las plantas fué molido y seguidamente se analizó la cantidad de azufre que contenían, mediante el método de Johson y Ulrich (11).

Con las muestras del suelo se tomó una libra después de haber mezclado las tres repeticiones, de ésta cantidad se tomaron las cantidades necesarias para hacer las determinaciones de azufre mediante los siguientes métodos.

- a- Azufre total por el método de Chaudry y Cornfield (3).
- b- Azufre orgánico según método (3).
- c- Azufre inorgánico según método (3).

IV RESULTADOS Y DISCUSION

A los resultados obtenidos en el ensayo se les hizo análisis de varianza y de contraste ortogonales los cuales no fueron significativos, a ninguno de los tratamientos excepto al obtenido en el horizonte II, perfil I que dió una respuesta significativa para 120 Kg/Ha de azufre.

Debido a esto no se pudo determinar los niveles críticos de azufre en el ensayo montado.

4.1. Peso en base seca de los tratamientos con azufre.

En el cuadro 1 aparecen los pesos promedios de la parte aérea de sorgo recolectados a los 60 días, en base seca.

En este cuadro, se aprecia que en el horizonte I, el mayor peso, corresponde al tratamiento de 120 Kg/Ha de azufre con 1.46 gr/matera al cual se le aplicó 80 Kg/Ha de azufre, junto con el testigo, que arrojó igual peso.

Según este resultado es evidente que con la aplicación de azufre no se obtiene una respuesta significativa en el peso en base seca, y esto lo confirma el ANDEVA que aparece en el cuadro 1 del apéndice.

Además, en el horizonte I, podemos observar que el testigo dió mayor peso en base seca que el tratamiento con 40 Kg/Ha de S, e igual peso que el tratamiento con 80 Kg/Ha de S. Demostrando con esto, que este horizonte es suficiente en $S-SO_4$, como lo evidencia, la tabla 3 en la cual aparece el horizonte I con mayor cantidad de $S-SO_4$ entre los demás horizontes. Igual tendencia se manifiesta en los contenidos de S-total, S-orgánico, de acuerdo con las tablas 1 y 2.

El resultado anterior es de esperarse, si tenemos en cuenta que el primer horizonte se acumulan todos los residuos orgánicos, que generalmente aportan buenas cantidades de azufre, al descomponerse, debido a la mineralización y oxidación del azufre, en la que intervienen la mayoría de los organismos del suelo.

En el horizonte II, el tratamiento que dió mayor peso promedio en base seca fué el de 120 Kg/Ha de S, siguiéndole el de 40 y 80 Kg/Ha de azufre respectivamente. Todos los tratamientos dieron mayor peso del sorgo en base seca que el testigo. según este resultado podemos inferir que con la aplicación de 120 Kg/Ha de azufre, se obtiene una respuesta significativa en el peso del sorgo en base seca, de acuerdo al cuadro del apéndice, en el cual aparecen las comparaciones ortogonales entre tratamientos y con el testigo.

Si observamos las tablas 1, 2 y 3, notamos que el testigo del horizonte II, presenta menor cantidad de las formas de azufre estudiadas.

El resultado anterior se acepta debido a la gran movilidad del azufre en el suelo, que pasa a estratos más profundos, dejando el horizonte II sin adecuado contenido de azufre.

En el horizonte III, el tratamiento que dió mayor peso promedio en base seca fué el de 80 Kg/Ha de azufre, y no hubo respuesta estadísticamente significativa a los tratamientos, como lo demuestra el cuadro del apéndice.

En general, su respuesta fué similar al horizonte I. El hecho de que no se presentara respuesta a la aplicación de azufre, nos hace pensar, que este elemento es suficiente en el III horizonte, debido posiblemente a la acumulación del azufre, proveniente de los primeros horizontes por su gran movilidad, según la serie de POLYNOV. (Página 117 de suelos tropicales de Frederick Hardy).

A la muestra, tomada de un terreno sin cultivar, se le hizo igual tratamientos, que las muestras de los horizontes de suelos cultivados con café.

En este suelo sin cultivo, aparece el tratamiento con 80 Kg/Ha de S, como el de mayor peso promedio de sorgo en base seca, seguido por el tratamiento con 40 Kg/Ha y finalmente, el de 120 Kg/Ha.

El resultado anterior se ajusta a las condiciones de este suelo sin cultivo, por la falta de suficiente biomasa que permita la acción de los microorganismos y en consecuencia se produzca azufre mineralizado.

En el cuadro 2, aparece el contenido de las diferentes formas de azufre en los tres horizontes del perfil cultivado con cafeto y en el primer horizonte del suelo sin cultivo, de los tres horizontes el I y el III son los que presentaron mayor contenido de $S-SO_4$, azufre total, azufre inorgánico, y además, son los que no presentan respuestas a la aplicación de azufre. mientras que en el II horizonte, que tiene menor contenido de azufre, excepto el S-orgánico, que es mayor que el III horizonte; si hay respuesta a la aplicación del elemento en estudio.

La muestra del terreno sin cultivo. presenta buen tenor de las diferentes formas de azufre.

4.2. Azufre total en el suelo después de haber recolectado la materia verde de la parte aérea y la raíz

Los resultados obtenidos en el presente trabajo para el azufre total en las muestras de suelos originales, van desde 850 hasta 2200 ppm; los cuales son bastantes bajo teniendo en cuenta que han sido encontradas cifras hasta de 10000 ppm a nivel mundial (18). Sin embargo estos resultados estan de acuerdo con Birch, citado por Granados (8), el cual afirma que la cantidad de azufre total en suelos colombianos es alrededor de 1500 ppm. También se observa que la mayor cantidad de azufre se encuentra en forma inorgánica.

El azufre total en las muestras de suelos después de haber hecho los tratamientos de 120 Kg/Ha de azufre, fué mayor que en el resto de los tratamientos.

4.3. Azufre orgánico en el suelo después de haber recolectado la materia verde de la parte aérea y la raíz.

Los resultados señalan que las mayores cantidades se encuentran en el I horizonte, quedando demostrado lo que dice Williams y Steimberg, citados por Granados (8), los cuales señalan que la mayor porción de azufre en la superficie del suelo ocurre en combinaciones orgánicas.

4.4. $S-SO_4$ extraído con fosfato de calcio.

Los mayores resultados se obtuvieron en el horizonte I del

perfil cultivado con cafeto y en cuanto al tratamiento el más significativo fué el de 120 Kg/Ha de azufre. Para la muestra del terreno sin cultivar se observó que el sulfato fué menor, esto está de acuerdo a lo expresado por Ensminger (5), que dice que la capacidad del suelo para adsorber es afectada por ciertos tratamientos al suelo. Indicando que los suelos de textura franco-arcilloso-arenoso resultan con una disminución de sulfato soluble.

4.5. Azufre total en plantas de sorgo en la parte aérea.

Las determinaciones indican que las mayores cantidades se encontraron en las plantas cultivadas en el suelo sin cultivo; es indiscutible que la razón para esto se deba a que este no ha sido cultivado, porque sabemos que las plantas absorben azufre en grandes cantidades a lo largo de su desarrollo. Con el aprovechamiento intensivo del suelo, él no puede suministrarlo en suficiente medida, razón por la cual se compensa hoy día la sustracción de sustancias nutritivas aplicando abonos orgánicos y sobre todo fertilizantes minerales (11).

4.6. Matriz de correlación entre las diferentes formas de azufre.

Los resultados obtenidos en la matriz de correlación indican

que la relación entre el azufre orgánico del suelo y $S-SO_4$ aprovechable fué altamente significativa; posiblemente se deba a lo que dice Witehead, que el azufre orgánico representa del 90 al 95% del azufre total, quedando la fracción inorgánica entre el 4 y el 9% y dentro de esta fracción la mayor parte corresponde a la forma de sulfato absorbido (8). Bardsley y Lancaster (18), encontraron valores de $S-SO_4$ de 9.59% del azufre total, estando el resto en las combinaciones orgánicas.

Cuadro 1. Peso en base seca de los tratamientos con azufre.

HORIZONTE I

Reparticiones de materia

Tratamiento en Kg/ha de S	Seca (gr/materia).			Total	\bar{X}
	I	II	III		
0	2.08	0.54	0.87	3.49	1.16
40	1.09	1.61	0.56	3.26	1.08
80	1.15	1.09	1.24	3.48	1.16
120	0.96	2.77	0.65	4.38	1.46

HORIZONTE II

0	0.02	0.42	0.16	0.60	0.20
40	0.52	0.26	0.24	1.02	0.34
80	0.25	0.24	0.50	0.99	0.33
120	0.55	0.41	0.52	1.48	0.49

Cuadro 1. (Continuación).

HORIZONTE III

Repeticiones de materia

Tratamiento en Kg/Ha de S	seca (gr/materia).			Total	\bar{X}
	I	II	III		
0	1.62	0.61	0.71	2.94	0.98
40	1.79	0.56	1.07	3.42	1.14
80	2.39	0.91	0.89	4.19	1.39
120	0.63	1.09	0.43	2.15	0.71

Suelo sin cultivo

0	1.14	1.76	2.03	4.93	1.64
40	1.65	3.12	3.61	8.38	2.79
80	2.56	3.31	3.09	8.96	2.98
120	2.76	2.24	0.51	5.51	1.83

Cuadro 2. Contenido de las diferentes formas de azufre en el perfil estudiado y en el primer horizonte de un terreno sin cultivar.

Muestra No	Horizonte	ppm				PH
		S-SO ₄	Azufre total	Azufre orgánico	Azufre inorgánico	
1	H ₁	8.0	1350	8.75	1341.25	5.4
2	H ₂	1.0	850	2.5	847.5	5.0
3	H ₃ ^x	1.25	2200	12.50	2187.45	5.3
4 ^x	H ₁	4.37	1850	32.50	1817.5	5.7

x Muestra en un terreno sin cultivo.

Tabla 1. Azufre total en el suelo después de haber recolectado la materia verde de la parte aérea y la raíz.

Muestra No	Tratamiento	Horizonte	ppm
1	T ₀	H ₁	850
2	T ₁	H ₁	850
3	T ₂	H ₁	1100
4	T ₃	H ₁	1100
5	T ₀	H ₂	600
6	T ₁	H ₂	1100
7	T ₂	H ₂	1850
8	T ₃	H ₂	850
9	T ₀	H ₃	900
10	T ₁	H ₃	1350
11	T ₂	H ₃	1650
12	T ₃	H ₃	1850
13 ^x	T ₀	H ₁	1250
14 ^x	T ₁	H ₁	1300
15 ^x	T ₂	H ₁	1350
16 ^x	T ₃	H ₁	1850

x Muestras tomadas en un terreno sin cultivo



Tabla 2. Azufre orgánico en el suelo después de haber recolectado la materia verde de la parte aérea y la raíz.

Muestra No	Tratamiento	Horizonte	ppm
1	T ₀	H ₁	16.25
2	T ₁	H ₁	33.75
3	T ₂	H ₁	46.25
4	T ₃	H ₁	33.75
5	T ₀	H ₂	8.75
6	T ₁	H ₂	12.50
7	T ₂	H ₂	12.50
8	T ₃	H ₂	12.50
9	T ₀	H ₃	2.50
10	T ₁	H ₃	22.30
11	T ₂	H ₃	22.60
12	T ₃	H ₃	22.50
13 ^x	T ₀	H ₁	15.00
14 ^x	T ₁	H ₁	16.25
15 ^x	T ₂	H ₁	21.25
16 ^x	T ₃	H ₁	35.75

x Muestras tomadas en un terreno sin cultivo.

Tabla 3. S-SO₄ extraído con fosfato de calcio.

Muestra No	Tratamiento	Horizonte	ppm	pH
1	T ₀	H ₁	8.00	4.8
2	T ₁	H ₁	42.50	4.7
3	T ₂	H ₁	48.75	4.8
4	T ₃	H ₁	54.37	5.0
5	T ₀	H ₂	1.25	4.5
6	T ₁	H ₂	4.25	6.6
7	T ₂	H ₂	23.12	4.6
8	T ₃	H ₂	34.37	4.8
9	T ₀	H ₃	1.25	6.6
10	T ₁	H ₃	14.37	6.7
11	T ₂	H ₃	24.37	4.8
12	T ₃	H ₃	27.50	5.2
13 ^x	T ₀	H ₁	1.25	4.7
14 ^x	T ₁	H ₁	10.62	6.7
15 ^x	T ₂	H ₁	23.12	4.9
16 ^x	T ₃	H ₁	26.87	4.9

x Muestras tomadas en un terreno sin cultivo.

Tabla 4. Azufre total en plantas de sorgo en la parte aérea.

Muestra No	Tratamiento	Horizonte	ppm
1	T ₀	H ₁	11500
2	T ₁	H ₁	11000
3	T ₂	H ₁	11000
4	T ₃	H ₁	9250
5	T ₀	H ₂	9750
6	T ₁	H ₂	11000
7	T ₂	H ₂	10000
8	T ₃	H ₂	11000
9	T ₀	H ₃	6750
10	T ₁	H ₃	12000
11	T ₂	H ₃	11000
12	T ₃	H ₃	11000
13 ^x	T ₀	H ₁	13750
14 ^x	T ₁	H ₁	9000
15 ^x	T ₂	H ₁	12500
16 ^x	T ₃	H ₁	12500

x Muestra tomadas en un terreno sin cultivo.

Tabla 5. MATRIZ DE CORRELACION ENTRE LAS DIFERENTES FORMAS DE AZUFRE.

	S Total planta	S Total suelo	S Orgánico suelo	SO ₄ Aprove- chable suelo	Peso base seca
S Total planta	-	0.3894 ns	0.2738 ns	0.2116 ns	0.1387 ns
S Total suelo		-	0.2567 ns	0.1333 ns	0.2258 ns
S Orgánico suelo			-	0.8724 **	0.0983 ns
S Aprove- chable				-	0.0623 ns
Peso base seca					-

** Altamente significativo.

V CONCLUSIONES

Los análisis químicos hechos en el laboratorio para el presente estudio, permiten sacar las siguientes conclusiones.

1. Con la aplicación de azufre no se obtiene una respuesta significativa para peso en base seca.
2. Se observa que en los suelos cultivados la presencia de residuos orgánicos aportan las cantidades suficientes de azufre para el buen desarrollo del cultivo.
3. Los tratamientos de 80 y 120 Kg/Ha de azufre fueron los que dieron mayores pesos promedios en base seca, sin respuesta estadísticamente significativa; a excepción del horizonte II que al realizar las pruebas de contraste ortogonal dió significancia al 5% en el tratamiento de 120 Kg/Ha de azufre.
4. Las diferentes formas de azufre, como son S-total, S-inorgánico y S-SO₄, se presentaron en mayor cantidad en los horizontes I y III del perfil cultivado, por lo cual no presentaron respuesta a las aplicaciones de azufre.
5. Las cantidades de S-total varían desde 600 hasta 1850 ppm

en el suelo.

6. Los valores de $S-SO_4$ extractable con fosfato de calcio variaron desde 1.25 hasta 54.37 ppm identificándose el horizonte I del perfil cultivado con las mayores cantidades.
7. En cuanto al azufre orgánico los resultados de este trabajo están de acuerdo con trabajos de otros autores los cuales afirman que la mayor parte de azufre ocurre en combinaciones orgánicas y se presentan en la superficie del suelo; observandose que la mayor cantidad se presentó en el horizonte I con un promedio de 35 ppm.
8. Con respecto al azufre total en planta se encontró que era mayor en las plantas del suelo sin cultivo, variando este entre 9000 y 13750 ppm.

VI RESUMEN

La presente investigación se llevó a cabo en la Granja Experimental de la Universidad Tecnológica del Magdalena Gabriel García Márquez; situada al norte del Departamento del Magdalena (Colombia), en el semestre B de 1982. Esta región se encuentra ubicada entre los paralelos $74^{\circ} 07'$ y $74^{\circ} 12'$ de longitud Oeste; y a los $11^{\circ} 11'$ y $11^{\circ} 15'$ de latitud Norte.

La temperatura varía entre 28 a 36°C , con una humedad relativa entre el 74 y 76% y una precipitación promedio de 880.9 mm.

La zona está a 15 msnm.

El suelo para realizar el ensayo se trajo de la finca Cincinnati, ubicada en la Sierra Nevada de Santa Marta, cultivada con plantas de cafeto en su gran mayoría. Dichas muestras correspondieron a un perfil cultivado y a un suelo sin cultivar.

El diseño estadístico utilizado para el presente estudio fué el de irrestrictamente al azar con cuatro tratamientos y tres repeticiones. Con el fin de determinar la cantidad de sulfato del suelo, azufre total en plantas como en suelo, azufre

orgánico y azufre inorgánico.

Se utilizaron el nitrato de amonio y el fosfato diácido de potasio como fuentes de N,P y K. El azufre fué suministrado en forma de yeso. La cantidad de suelo secado al aire por maceta fué de 2000 gramos aproximadamente.

Como planta de ensayo se utilizó el Híbrido de sorgo penta 56 90 (Sorghum bicolor, L.Moench). Sembrándose las semillas pregerminadas; las macetas se regaron con agua desionizada. Las plantas se recogieron para los análisis de laboratorio a los 60 días.

Al material de planta se le analizó la cantidad de azufre que contenían mediante el método de Johson y Ulrich, obteniéndose valores que varían entre 9000 y 13750 ppm de azufre, encontrándose los mejores resultados en las plantas sembradas en el suelo sin cultivo. Con la muestra de suelo se hizo una mezcla homogénea de las tres repeticiones de la cual se tomaron las cantidades necesarias para determinar las diferentes formas de azufre.

El azufre total se analizó mediante el método de Chaudry y Cornfield, obteniéndose una variación de 850 hasta 1850 ppm; correspondiendo los valores menores a los tratamientos 0 y 40 Kh/Ha de azufre.

Para el azufre orgánico en el análisis se encontraron valores comprendidos entre 2.50 y 46.25 ppm, correspondiendo los mayores valores al horizonte I del perfil cultivado.

En cuanto al azufre extraído con fosfato de calcio, los valores encontrados variaron entre 1.25 y 54.37 ppm, perteneciendo al horizonte I del perfil cultivado las mayores cantidades de este azufre.

SUMMARY

This research was carried out in the experimental farm of the Teehnological University of Magdalena (Universidad Tecnológica del Magdalena, Gabriel García Márquez), located in northerm Magdalena (Colombia), in the B semester of 1982. This region is situated between $74^{\circ} 11'$ and $11^{\circ} 15'$ north latitude.

Temperature varies between 28 and 36°C a with a relative humidity between 74 and 76% and a mean annual rainfall of 880.9 mm. The zone is 15 m. o.s.l.

The soil used in the study was brought from the farm "Cincinnati", in the Santa Marta's Snow-capped Sierra (Sierra Nevada de Santa Marta), a coffee region for the most part. The samples were taken from crop and non crop soils.

A irestrictly random design was used with four treatments and three replicates for determining sulphfate in the soil, total sulphur in plants and in soil and organic and inorganic sulphur.

Anmonia nitrate and diacid potasuim phospate were used as N, P and K sources. Gypsum was the sulphur source aproximately 2000 grams of soil per pot were dried in hot air.

The sorghum hybrid penta 56 - 90 (Sorghum bicolor, L. Moench) was used as trial plant, Pre-germinated seeds were used. Pots were sprayed with de-ionized water. Plants were picked up for laboratory analysis at 60 days.

Sulphur amount through Johnson and Ulrich method was measured. Figures vary between 9000 and 13750 ppm of sulphur, with the best results in plants grown on soil without crop.

With replication samples an homogeneous mixture was made from which amounts for determining sulphur were taken. Total sulphur was measured with the Chaudry and Cornfield method with figures from 850 to 1850 ppm. The lower values corresponded to 0 and 40 Kg/He of sulphur.

Values from 2.50 to 56.25 ppm were found for organic sulphur and the highest figures were those of the I horizon in the soil with crop.

As regard sulphur obtained through calcium phosphate, values vary from 1.25 to 54.37 ppm and the larger amounts were obtained from the I horizon of the soil with crop.

VII BIBLIOGRAFIA

1. BARDSLEY, C. E. y JORDAN, H.V. Sulfur availability in seven southeaster soils as mesearud by growth and composition of white clover. Agrom. J. 49:310-312, 1957.
2. BLASCO, L. M. Metabolismo del azufre en los suelos: de terminación del $S-SO_4$ producido en incubaciones. Turrialba, IICA, 1971. pp. 241-243.
3. CHAUDRY, I. A. and CORNFIELD, A. H. The determination of total sulphur in soil and plant material. Analyst 91 (1085):528-530. 1966.
4. DEMOLON, A. Principios de agronomía. Barcelona, Omega. 1966. 2v.
5. ENSMINGER, L. E. Some factors affecting the abosorption of sulfates by Alabama soils, Soil Sci. Soc. Am. Proc. 18:259-264, 1954.
6. FASSBENDER, H. W. Química de suelos. Turrialba, IICA, 1969. 266p.
7. FRIED, M. The absorption of sulfate by plants as shown by the use of radioactive sulfate. Soil Soc. Am. Proc. 13:135-138. 1949.
8. GRANADOS, N. M. Mineralización del azufre en los suelos bajo cultivo de cacao (Theobroma cacao L.) Tes. Mag. S. C. Turrialba, IICA, 1972. 57p.

9. HALL, A. D. Estudio científico del suelo: una introducción al estudio del crecimiento de las cosechas. 5^a ed Madrid, Aguilar, 1961. 305p.
10. INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI. Dpto. Agrologico. Métodos analíticos del laboratorio de suelo. Bogotá, El Instituto, 1963. 130p.
11. JOHNSON, C. M. and ULRICH, A. Analytical methods for use in plant analysis. California, Agr. Expt. Sta., 1959. pp. 57-58. (Boletín, 766).
12. JORDAN, H. V. y BARDSLEY, C. Responce of crops to sulfur on Southeastern soils. Soil Sci. Am. Proc. 22:254-256, 1958.
13. KAMPRATH, E. J. , NELSON, W. L. y FITTS, J. W. Sulfur removed from soils by fiel crops. Agron. J. 49:289-293, 1957.
14. LAFAURIE, Jairo y MANJARRES, Cristobal. Formas de azufre en los suelos de la zona bananera del Dpto. del Magd., Tes.Ing. Agr. Santa Marta, Universidad Tecnológica del Magdalena, 1978. 54p.
15. MALAVOLTA, E. Estudios químico-agrícolas sobre o enxofre. Anais de Esc. Sup. Agric. "Luiz de Queiroz". 9:40-130, 1953.
16. McCLUNG A. C. y FREITAS, L. M. Deficiencias de azufre en los suelos de las tierras atlas de sabana brasileñas. New Yor, Instituto IBEC de Investigaciones Técnicas, 1958. 8p. (Nota Técnica N° 2).

17. MILLAR, C. E. Fertilidad del suelo. Barcelona, Salvat, 1963. 477p.
18. OSPINO, A. y COQUIS, L. E. Contenido del azufre asimilable y total en suelos de la zona bananera del Dpto. del Magd. Tes. Ing. Agr. Santa Marta, Universidad Tecnológica del Magdalena, 1974. 46p.
19. PEÑALOSA, M. C., GUTIERREZ, O. y SALAS, A. Estudio comparativo de los suelos de la zona cafetera de San Isidro de la Sierra, Cincinatti y San Javier. Tes. Ing. Agr. Santa Marta, Universidad Tecnológica del Magdalena, 1964. 77p.
20. RUSSELL, E. y RUSSELL, E. W. Las condiciones del suelo y el desarrollo de las plantas. 3^a ed. Barcelona, Aguilar, 1964. 771p.
21. TEUSCHER, H. y ADLER, R. El suelo y su fertilidad. Mexico, Continental, 1965. 510p.
22. THOMPSON, L. M. El suelo y su fertilidad. 3^a ed. Barcelona, Reverte, 1966. 409p.
23. WALKER, T. W. The sulfur cycle in grassland soils. J. Brit. Grassland Soc. 12:10-18, 1957.

APENDICE

Cuadro 1. Andeva del peso en base seca del perfil estudiado y del horizonte I en un suelo sin cultivo.

FV	GL	SC	CM	FC	FT	0.05	0.01
Tratamiento	3	0.25	0.08	0.14	4.07	7.59	
Error	8	4.5	0.56				
Total	11	4.75					

HORIZONTE II

FV	GL	SC	CM	FC	FT	0.05	0.01
Tratamiento	3	0.13	0.04	2	4.07	7.59	
Error	8	0.18	0.02				
Total	11	0.31					



Cuadro I. Continuación

HORIZONTE III

FV	GL	SC	CM	FC	FT	
					0.05	0.01
Tratamiento	3	0.73	0.24	0.63	4.07	7.59
Error	8	3.09	0.38			
Total	11	3.82				

SUELO SIN CULTIVO

FV	GL	SC	CM	FC	FT	
					0.05	0.01
Tratamiento	3	4.08	1.36	1.97	4.07	7.59
Error	8	5.57	0.69			
Total	11	9.65				

Cuadro 2. % relativo de diferentes formas de azufre en el ensayo efectuado.

	HORIZONTES			
	H ₁	H ₂	H ₃	^x H ₁
	%			
Azufre Total	21.60	13.60	35.20	29.60
Azufre orgánico	15.56	4.45	22.22	57.77
Azufre inorgánico	21.65	13.68	35.32	29.34
Azufre SO ₄ ^{xx}	54.71	6.83	8.54	29.89

x Muestra tomada en un terreno sin cultivo.

xx % relativo en relación con el azufre inorgánico.

Cuadro 3. Prueba de contraste ortogonal del horizonte II del perfil del suelo cultivado (Peso en base seca).

Contras- te	T_1 0.60	T_2 1.02	T_3 0.99	T_4 1.48	$\sum ci^2$	Q	r	$x \sum ci^2$	$Q^2/r \sum ci^2$
1 vs 2	1	-1	0	0	2	-0.42	3 x 2 = 6		0.0294
1 vs 4	1	0	0	-1	2	-0.88	3 x 2 = 6		0.1290
1 vs 3	1	0	-1	0	2	=0.39	3 x 2 = 6		0.0253

Contraste

1 vs 2	Fc =	$\frac{0.0294}{0.02}$	=	1.47	N S
1 vs 4	Fc =	$\frac{0.1290}{0.02}$	=	6.45	x
1 vs 3	Fc =	$\frac{0.0253}{0.02}$	=	1.26	N S

x Significativo al 5%.

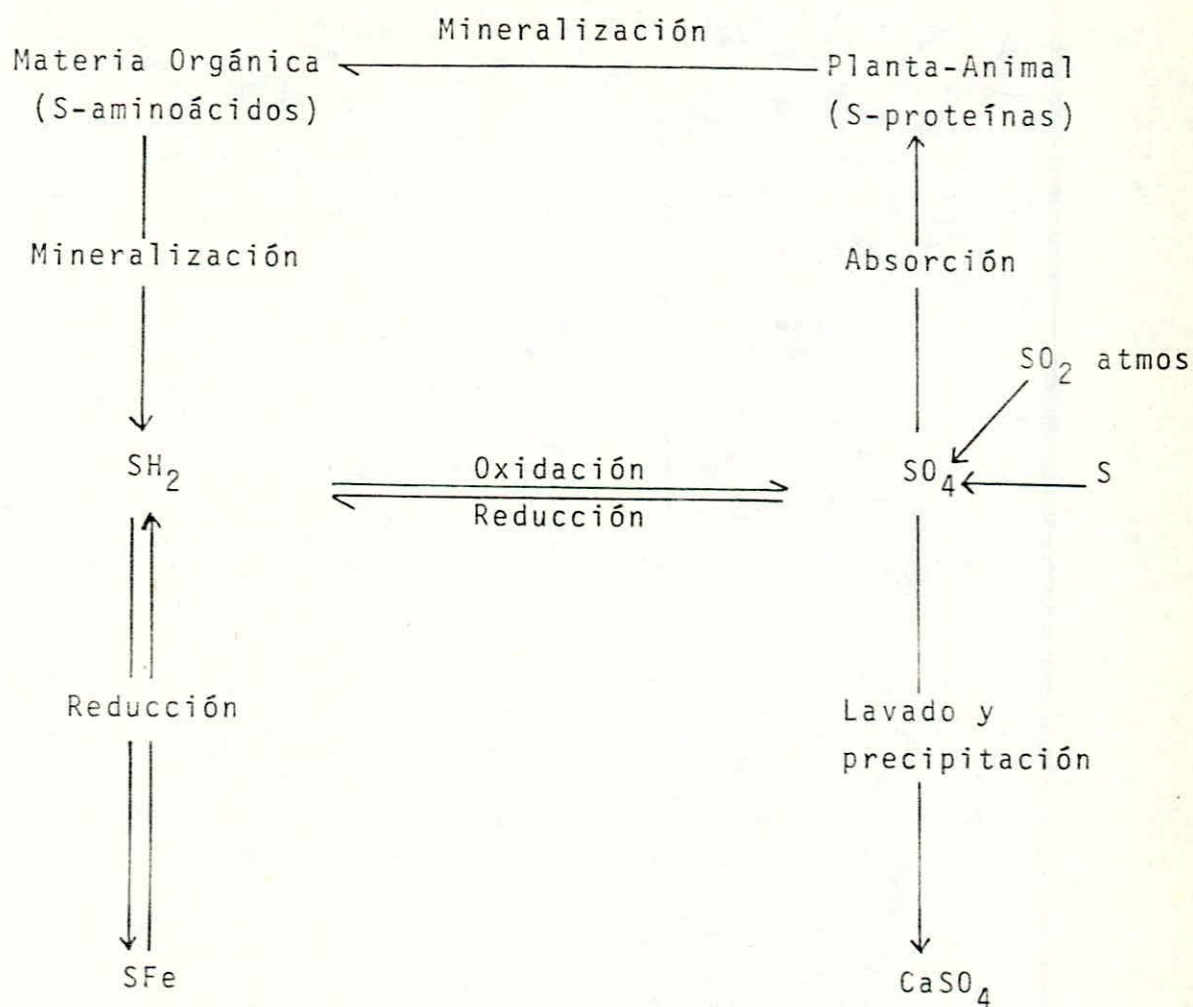


Fig N° 1. Ciclo del azufre en la naturaleza por Fassbender (6).

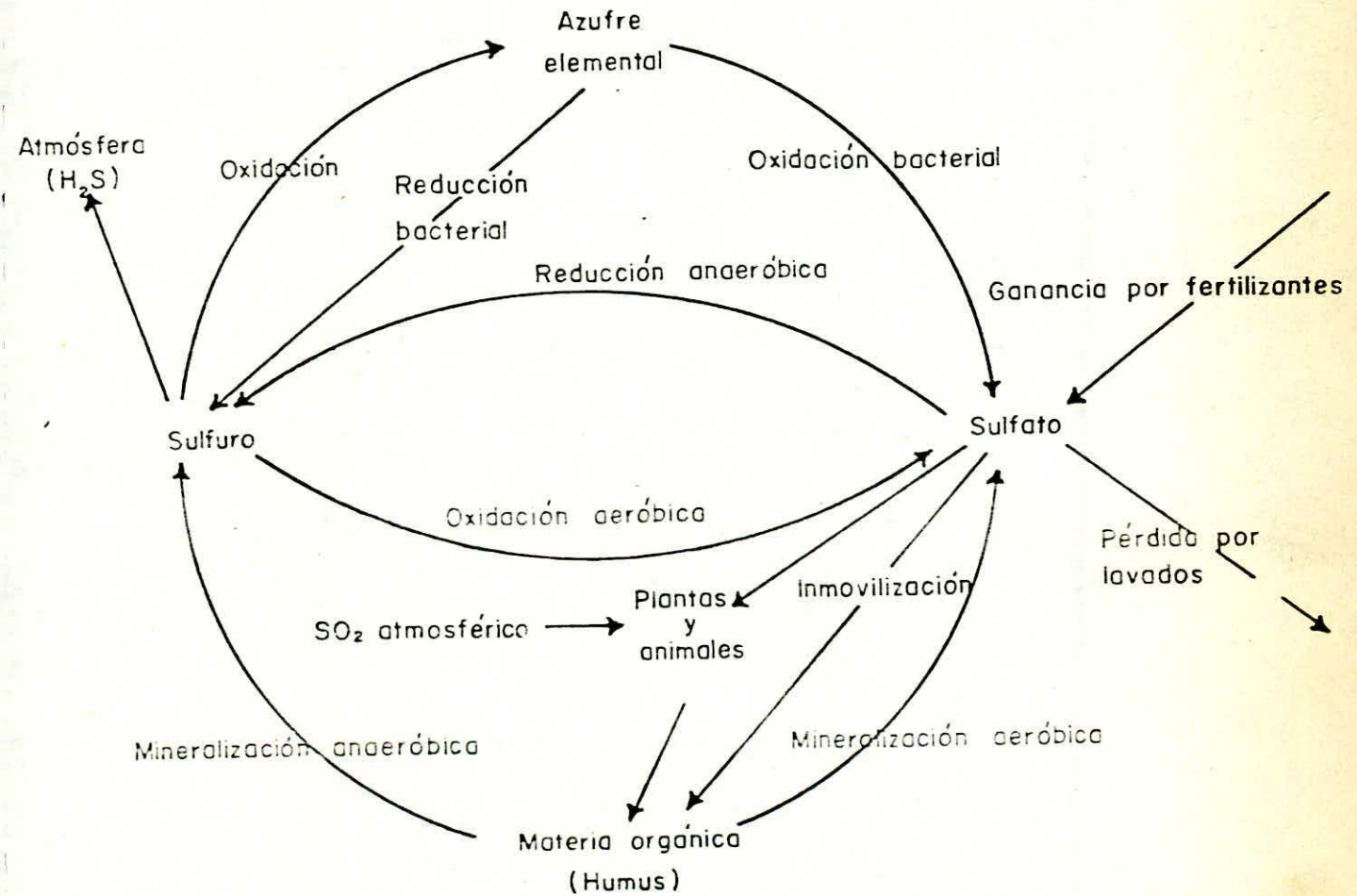


Fig.2 — El ciclo del azufre en la naturaleza. Chaudry (3.)